
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
Academic Session 2006/2007
*Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2006/2007*

April 2007

EBB 215/3 – Semiconductor Materials ***EBB 215/3 – Bahan Semikonduktor***

Time: 3 hours
Masa: 3 jam

Please ensure that this paper consists of TWELVE printed pages before you proceed with the examination.

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi DUA BELAS muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan.

This paper contains SEVEN questions.

Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan.

Answer FIVE questions. If a candidate answers more than five questions only the first five questions answered in the answer script would be examined.

Jawab LIMA soalan. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.

Answer to each and every question must start on a new page.

Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat yang baru.

All questions must be answered in English.

Jawab semua soalan dalam Bahasa Inggeris.

1. [a] Answer ONE of the following questions:

- (i) Describe two physical mechanisms which result in a breakdown of biased silicon diode. These mechanisms must be described in details, providing information on the bias mode, maximum voltage applied and the energy band diagrams before and during the occurrence of the events.

Jawab SATU soalan daripada soalan-soalan di bawah:

- (i) *Terangkan dua mekanisma fizikal yang mengakibatkan keruntuhan pada diod silikon yang dipincangkan. Mekanisma-mekanisma ini perlu diterangkan dengan terperinci dengan memberikan maklumat berkenaan dengan mod kepincangan diod, voltan maksimum yang dikenakan, jalur-jalur tenaga sebelum dan semasa keruntuhan berlaku.*

(50 markah)

OR (ATAU)

- (ii) You are given a silicon pn junction diode with $N_A = 1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ and $N_D = 1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ (300K). The diode is biased with a reverse bias voltage of 5V. Calculate the built-in potential, V_{br} and the width of the depletion region, W_r at this biased condition. Explain your calculation by sketching an energy band diagram labeled with V_{br} and W_r .

Anda diberikan satu diod simpang pn berasaskan silikon yang mempunyai $N_A = 1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ dan $N_D = 1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ (300K). Diod ini dipincang berbalik pada voltan 5V. Kirakan keupayaan terhasil, V_{br} dan lebar kawasan susut, W_r pada keadaan pincang berbalik ini. Terangkan pengiraan anda dengan melakarkan gambarajah jalur tenaga yang siap berlabel dengan V_{br} dan W_r .

(50 markah)

...3/-

- [b] Give the definition of
- (i) Dopants
 - (ii) Majority carrier
 - (iii) Minority carrier

Berikan takrifan bagi:

- (i) *Pendop*
- (ii) *Pembawa majoriti*
- (iii) *Pembawa minoriti*

(15 markah)

- [c] Give 2 specific examples of material for each semiconductor material classification below.
- (i) Elemental
 - (ii) III-V compound
 - (iii) II-IV compound

Berikan 2 contoh bahan bagi setiap pengkelasan bahan semikonduktor di bawah ini:

- (i) *Elemen*
- (ii) *Sebatian III-V*
- (iii) *Sebatian II-IV*

(15 markah)

- [d] Describe the stacking fault defect in a semiconductor material.

Terangkan kecacatan gagal tindanan di dalam suatu bahan semikonduktor.

(20 markah)

2. Silicon is doped with $N_D = 5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$. The following questions are associated with this silicon. Answer all questions.

Silikon didopkan dengan $N_D = 5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$. Soalan-soalan seterusnya adalah berkaitan dengan silikon ini. Jawab semua soalan.

- [a] Identify the type of dopant in the Si?

Tentukan jenis pendop di dalam silikon.

(5 markah)

- [b] Give an example of a suitable material that can be doped to this Si and explain why?

Berikan contoh bahan pendop yang sesuai bagi silikon dan terangkan kenapa?

(15 markah)

- [c] If the Si is at 300K, calculate n_0 and p_0

Jika silikon ini berada pada suhu 300K, kirakan n_0 and p_0 .

(20 markah)

- [d] Locate the Fermi level.

Tentukan kedudukan aras Fermi.

(20 markah)

- [e] Draw an energy band diagram of the silicon. In your band diagram, identify E_C , E_V , E_f , E_{fi} and E_d

Lukiskan gambarajah jalur tenaga silikon. Di dalam gambarajah anda tentukan E_C , E_V , E_f , E_{fi} dan E_d .

(20 markah)

- [f] Sketch a plot of n_o as a function of temperature (temperature range: $200K \leq T \leq 700K$) in this Si, indicate the temperature dependence of n_o and when N_D is changed to $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$.

Lakarkan satu plot n_o melawan suhu (julat suhu: $200K \leq T \leq 700K$) untuk silikon ini dan tentukan apakah hubungan suhu terhadap n_o apabila N_D dtukar kepada $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$.

(20 markah)

3. A constant voltage source is connected to two sides of a semiconductor chip. As a consequence to this, electric field, E is established in it. Given that the semiconductor chip is made out of pure silicon and has a length, l and area A . The following questions are related to this chip, answer all questions.

Voltan malar dikenakan kepada satu cip semikonduktor. Berikutan dengan ini, medan elektrik, E terhasil di dalam cip tersebut. Cip semikonduktor dibuat daripada silikon tulen dengan panjang, l dan kawasan, A . Soalan-soalan yang seterusnya adalah berkaitan dengan cip ini. Jawab semua soalan.

- [a] The field established in the Si chip will causes the charge carriers in it to move. Derive an expression for drift current in this semiconductor,

Medan yang terhasil di dalam cip Si akan membuatkan pembawa cas bergerak. Terbitkan persamaan untuk arus hanyutan untuk semikonduktor ini.

(30 markah)

- [b] The charge carriers are also governed by their mobilities. Derive an expression for mobilities of electrons and holes. Explain how scattering affects mobilities in the semiconductor chip.

Pembawa cas juga ditentukan oleh kelincahan. Terbitkan persamaan untuk kelincahan elektron dan lohong. Terangkan bagaimana serakan memberi kesan terhadap kelincahan di dalam cip semikonduktor ini.

(30 markah)

- [c] Given that the mobility of the semiconductor chip is $\mu_n = 1330\text{cm}^2/\text{Vs}$ and $\mu_h = 495\text{cm}^2/\text{Vs}$. Calculate the room temperature resistivity.

Diberikan kelincahan di dalam semikonduktor ini ialah $\mu_n = 1330\text{cm}^2/\text{Vs}$ dan $\mu_h = 495\text{cm}^2/\text{Vs}$. Kirakan kerintangan pada suhu bilik.

(20 markah)

- [d] Define recombination and generation process. What do you think would happen to the semiconductor chip when it is exposed to ultraviolet light?

Berikan definisi proses gabungan semula dan penjanaan. Apakah yang anda fikir akan berlaku apabila cip semikonduktor ini dipancarkan dengan cahaya ultra-ungu.

(20 markah)

4. An abrupt p-n junction is formed in a silicon substrate. The n-side is doped with $N_D = 1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ and the p-side is doped with $N_A = 1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$. Answer the following questions:

Simpang mendadak p-n dihasilkan pada satu substrat silikon. Bahagian n didopan dengan $N_D = 1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ dan bahagian p didopan dengan $N_A = 1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$. Jawap soalan-soalan di bawah:

- [a] Give an example of a technique which could be used to produce this p-n junction.

Berikan contoh satu teknik untuk penghasilan simpang p-n.

(10 markah)

- [b] Sketch the energy band diagram of the p-n junction before and after the junction reaches equilibrium. How does the depletion region is formed? Explain this in your sketches.

Lakarkan gambarajah jalur tenaga untuk simpang ini sebelum dan selepas mencapai keadaan keseimbangan. Bagaimanakah kawasan susut terhasil. Terangkan dengan gambarajah lakaran anda.

(40 markah)

- [c] Provide neat sketches of the following distribution which have been achieved once the junction reaches equilibrium:
- (i) Approximate charge distribution in the depletion region
 - (ii) Electric field distribution in the depletion region
 - (iii) Electric potential distribution in the depletion region
- Indicate the boundaries for each of the distribution and explain each sketch briefly.

Berikan lakaran yang kemas untuk taburan-taburan di bawah, yang terhasil apabila simpang mencapai keseimbangan:

- (i) Anggaran taburan cas di dalam kawasan susut*
- (ii) Taburan medan elektrik di dalam kawasan susut*
- (iii) Taburan keupayaan elektrk di dalam kawasan susut*

Tentukan di mana sempadan untuk setiap taburan dan terangkan setiap lakaran.

(50 markah)

5. [a] With the aid of a schematic diagram, explain CZ technique to growth Si ingot.

Dengan bantuan gambarajah skematik, terangkan teknik CZ bagi penjangka menumbuhkan igot silikon.

(35 markah)

- [b] With the aid of a flow chart, describe each process to obtain an ultrapure polycrystalline Si.

Dengan bantuan carta alir, bincangkan setiap proses yang terlibat bagi memperoleh Si polihablur yang ultra tulen.

(35 markah)

- [c] By using CZ technique, a Si crystal is to be pulled from the melt and doped with boron ($k_d=0.80$). If the Si weighs 50 kg, how many grams of boron should be introduced to achieve $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ doping during the initial growth ? The atomic weight of boron is 11. The density of Si is 2.33 g/cm^3 .

Dengan menggunakan teknik CZ, hablur Si akan ditarik keluar dari leburan Si yang telah didop dengan boron ($k_d=0.80$). Jika berat leburan Si ialah 50 kg, berapa gram boron perlu ditambah ke dalam leburan bagi mencapai $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ semasa peringkat awal penumbuhan. Berat atom boron ialah 11. Ketumpatan Si ialah 2.33 g/cm^3 .

(30 markah)

6. [a] By using atomistic approach, discuss the splitting of energy band in silicon.

Dengan menggunakan pendekatan atomistik, bincangkan pemisahan jalur tenaga bagi silikon

(30 markah)

- [b] With the aid of energy band diagram, describe the intrinsic and extrinsic semiconductor (explain for n-type & p-type) at $T=0$ K and $T \approx 50$ K.

Dengan bantuan gambarajah jalur tenaga, terangkan semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik (jelaskan bagi jenis-n & jenis-p) pada $T = 0$ K dan $T \approx 50$ K.

(45 markah)

- [c] The band gaps and melting points of III-V semiconductors are higher than those of isoelectronic elemental group IV semiconductors. By giving an example of the same atomic number substances, explain these observations in terms of atomic cohesions and crystal bonding.

Jurang jalur dan takat lebur bagi semikonduktor III-V adalah lebih tinggi daripada elemen semikonduktor kumpulan IV isoelektronik. Dengan memberikan contoh bahan yang mempunyai nombor atom yang sama, terangkan pemerhatian ini dari segi jelekitan atom dan ikatan hablur.

(25 markah)

7. [a] With the aid of a diagram, discuss the concept of effective mass of particle in a crystal.

Dengan bantuan gambarajah, bincangkan konsep jisim berkesan bagi partikel di dalam hablur.

(40 markah)

- [b] Plot the Fermi-Dirac probability function graph, given by equation:

$$f_F(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)}$$

Over the range $-0.2 \leq (E - E_F) \leq 0.2$ eV for:

- (i) $T = 200$ K
- (ii) $T = 300$ K
- (iii) $T = 400$ K

Plotkan graf bagi fungsi taburan Fermi-Dirac, menggunakan persamaan berikut:

$$f_F(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)}$$

Bagi julat $-0.2 \leq (E - E_F) \leq 0.2$ eV pada:

- (i) $T = 200$ K
- (ii) $T = 300$ K
- (iii) $T = 400$ K

(60 markah)